

06.3;12

## Фотоприемник с переключением и памятью на гетероструктуре CdS–GaN

© А.Г. Дрижук, В.Г. Сидоров, Д.В. Сидоров, М.Д. Шагалов

Вологодский политехнический институт

Поступило в Редакцию 27 июня 1997 г.

Изготовлен фотоприемник, имеющий два стабильных состояния. Переключение осуществляется импульсом света от внешнего источника. Состояния запоминаются до тех пор, пока на фотоприемник подано напряжение. Приведены конструкция и характеристики фотоприемника. Основой устройства является светодиодная  $M-i-n-GaN$ -структура

Фоточувствительные полупроводниковые приборы находят разнообразное применение в системах автоматики, оптической связи и других областях техники. Многофункциональность таких приборов расширяет возможности их использования. Цель данной работы состоит в демонстрации структуры и принципа действия многофункционального фотоприемного устройства, созданного на основе гетероструктуры CdS–GaN на сапфире.

Структура фотоприемника представлена на рис. 1. На сапфировой подложке, ориентированной в плоскости (1012), методом газофазной эпитаксии в хлоридно-гидридной системе выращена структура из нитрида галлия, состоящая из трех слоев. Буферный слой толщиной  $10-20 \mu\text{m}$  нелегированного хорошо проводящего  $n-GaN$  с совершенной кристаллической структурой обеспечивает развязку от подложки и кристаллическое совершенство вышележащих слоев и одновременно служит электрическим контактом к следующему за ним высокоомному слою  $i^+-GaN(Zn,O)$ . Второй слой нитрида галлия легирован цинком и кислородом. Он имеет удельное сопротивление  $(10^3-10^5) \Omega \cdot \text{cm}$  и толщину  $(0.3-3) \mu\text{m}$  и обладает эффективной люминесценцией в синеголубой области видимого спектра. Третий более высокоомный слой имеет удельное сопротивление  $(10^5-10^7) \Omega \cdot \text{cm}$  толщину  $(0.05-0.5) \mu\text{m}$  и легирован только цинком. Соотношение полных сопротивлений второго и третьего слоев составляет  $\sim 1/10$ . Эта трехслойная GaN-структура представляет собой голубой светодиод, описанный в работе [1]. Из-за

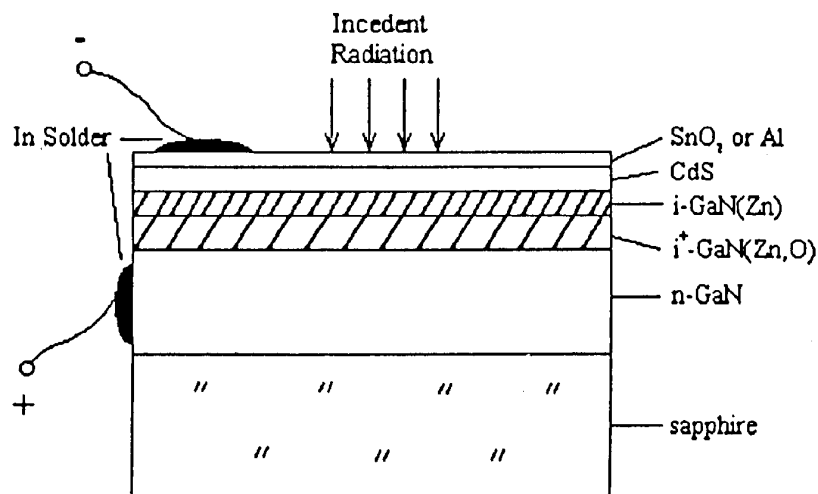
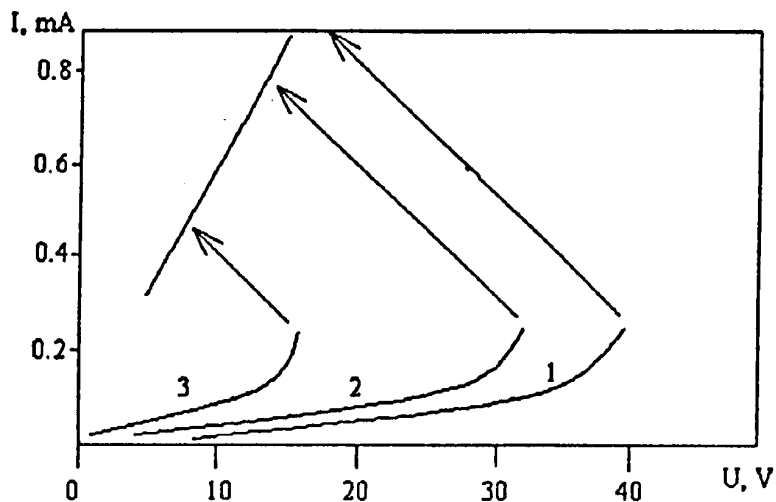


Рис. 1. Структура фотоприемника CdS-GaN.

асимметричного строения светодиода голубая электролюминесценция наблюдается только при отрицательном потенциале напряжения на  $i$ -GaN(Zn) слое. Только в этом случае "горячие" электроны, ускоренные электрическим полем в  $i$ -GaN(Zn) слое, могут попасть в следующий  $i^+$ -GaN(Zn,O) слой и возбудить в нем излучательные Zn-O-центры.

На поверхность светодиодной структуры нанесен фоточувствительный слой сульфида кадмия. Слой изготовлен методом пульверизации водной суспензии порошка CdS с последующим термическим отжигом при  $\sim 580^\circ\text{C}$  [2]. Слой CdS имеет хорошую адгезию к GaN, а GaN не изменяет своих свойств при температуре отжига. Спектр излучения  $M$ - $i$ - $n$ -GaN-светодиода имеет максимум при энергии 2.55 eV, что почти идеально совпадает со спектром фоточувствительности полученного таким способом CdS. Ширина запрещенной зоны CdS при 300 K равна 2.53 eV. Темновое сопротивление слоя CdS не менее чем на порядок превосходит полное сопротивление  $i$ - $n$ -GaN-структуры. Затем на полученную структуру наносился прозрачный электрод из двуокиси олова или тонкой алюминиевой пленки, напыленной в вакууме. Этот электрод может быть и сплошным, непрозрачным. Тогда излучение



**Рис. 2.** Вольт-амперные характеристики фотоприемника при различных интенсивностях внешнего освещения:  $\Phi_1 < \Phi_2 < \Phi_3$ .

внешнего источника направляется через подложку, так как светодиодная структура из GaN прозрачна до энергий фотонов  $\sim 3.2$  eV. К слою n-GaN контакт изготавливался из индия.

Принцип действия фотоприемника состоит в следующем. Отрицательный потенциал от внешнего источника напряжения подан на контакт к CdS, положительный — на контакт к n-GaN. При этом все приложенное к фотоприемнику напряжение падает на фотослое CdS. Фотоприемник находится в высокоомном состоянии. Освещение фотоприемника импульсом света из области фоточувствительности CdS возбуждает фотопроводимость в слое CdS. Сопротивление в слое уменьшается. Напряжение в структуре перераспределяется в пользу светодиода. Возгорается светодиод. Фотоприемник переключается в низкоомное состояние. Механизм переключения обусловлен положительной оптической обратной связью, возникающей в приборе между фотослоем и светодиодом. Излучение светодиода поглощается в слое CdS. Сопротивление слоя и всей структуры уменьшается. Растет ток через светодиод. Увеличивается интенсивность электролюминесценции, что приводит к дальнейшему уменьшению сопротивления слоя CdS.

Этот процесс, развиваясь лавинообразно, приводит к появлению на вольт-амперной характеристике прибора участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением и резким увеличением тока (рис. 2). Изменение уровня внешней освещенности значительно изменяет напряжение переключения и практически не влияет на ток переключения. Фотоприемник находится в низкоомном состоянии до тех пор, пока на него подано напряжение, превосходящее порог зажигания светодиода, (5–7) V, т. е. прибор запоминает световой сигнал внешнего источника, хотя этого источника может уже и не быть, и сигнализирует об этом своим голубым излучением. Время переключения фотоприемника определяется свойствами слоя CdS и в зависимости от условий его изготовления находится в диапазоне (2–100)  $\mu$ s. Быстродействие светодиода  $\sim 100$  ns. Вместо CdS могут быть использованы другие фоточувствительные материалы с шириной запрещенной зоны  $< 2.5$  eV. Соответственно материал полупроводника будет определять спектральный диапазон чувствительности фотоприемника. Для обеспечения работы фотоприемника при любой полярности напряжения на гетероструктуре могут быть использованы светодиодные GaN-структуры, содержащие чередующееся расположение слоев ускорения электронов и генерации люминесценции [3]. Например, M–CdS– $i^+$ –GaN(Zn,O)– $i^-$ –GaN(Zn)– $i^+$ –GaN(Zn, O)– $n^-$ –GaN–M.

Представленный в статье фотоприемник фактически является многофункциональным оптоэлектронным прибором. Он может быть фотоприемником, излучателем, элементом памяти, элементом с оптическим выводом информации, индикатором освещенности — фотореле, оптическим переключателем и др.

Работа выполнена при частичной поддержке Аризонского университета (США).

## Список литературы

- [1] Дрижук А.Г., Зайцев М.В., Сидоров В.Г., Сидоров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22 (6). С. 67–71.
- [2] Павелец А.М., Федорус Г.А., Шейнкман М.К. // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. 1973. Т. 12. С. 71–75.
- [3] Дрижук А.Г., Зайцев М.В., Сидоров В.Г., Сидоров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22 (13). С. 33–36.